

OPONENTNÍ POSUDEK NA DISERTAČNÍ PRÁCI

Ing. Tomáše DULÍKA

METHODS FOR INTERFERENCE MITIGATION IN WIRELESS NETWORKS

Aktuálnost tématu disertace. Disertační práce Tomáše Dulíka se věnuje experimentálnímu výzkumu interferencí v bezdrátových sítích. Zvolené téma lze charakterizovat jako:

- Aktuální. Databáze IEEE Xplore obsahuje přes 200 prací o experimentálním testování interferencí v bezdrátových sítích, které byly publikovány v posledních pěti letech.
- Multidisciplinární. Experimentální výzkum v dané oblasti vyžaduje důkladné znalosti z oblasti zpracování signálů, informatiky, radiofrekvenčních obvodů a měření.

Téma předložené disertační práce považuji za velmi dobře zvolené.

Disertační práce sestává z přehledu současného stavu poznání, popisu cílů disertace, pěti kapitol vlastní práce a závěru. V následujícím textu se vyjadřuji k jednotlivým částem disertace a formuluji související otázky.

Přehled současného stavu je velmi stručný. Jedna strana je věnována rozboru odborné literatury, jedna patentům a jedna komerčním produktům. Velmi oceňuji snahu zahrnout do stavu poznání patenty a komerční výstupy. Rozbor literatury mohl být obsáhlejší.

Z přehledu současného stavu vyplývá, že implementace komplexního zařízení pro testování bezdrátových sítí je otevřeným problémem. Komplexností zařízení je přitom myšleno zahrnutí fyzické i vyšších vrstev do testovacího systému.

Implementovaný měřicí systém by měl následně sloužit k experimentálnímu výzkumu technik pro redukci nežádoucích interferencí mezi různými technologiemi a různými zařízeními (*cross-technology interference between DSSS and OFDM, cross-device noise cancellation*).

K přehledu současného stavu mám následující otázky:

1. Ve třetím odstavci na str. 8 píšete: *Nebyli jsme schopni najít žádnou publikaci věnovanou interferencím mezi DSSS a OFDM pro specifika standardů 802.11.* Interferencím mezi DSSS a OFDM se věnuje např. [1]. Proč nelze informace z této publikace aplikovat na standard 802.11?
2. Ve druhém odstavci na str. 9 píšete, že Google příliš mnoho prací věnovaných tématu *Cross Technology Interference* nevyhledá. IEEE Xplore však vypíše na 800 prací, spojených s tímto termínem. Zkoušel jste porovnat výsledky hledání z Google a IEEE Xplore?

Cíle disertace. Z vypracovaného rozboru současného stavu poznání přirozeně vyplynuly tři cíle disertační práce:

1. Vytvoření radiofrekvenčního zařízení pro komplexní testování bezdrátových sítí;

2. Experimentální prozkoumání *cross-technology* interferencí mezi DSSS a OFDM;
3. Experimentální ověření technik pro potlačení interferencí mezi zařízeními.

Každý z uvedených cílů má podle mého názoru potenciál přinést původní výsledky.

Čtvrtá kapitola práce je věnována vysvětlení podstaty bezdrátových lokálních sítí standardu 802.11. Kapitola má spíše charakter učebnice nežli disertační práce. Na druhou stranu uznávám, že je užitečné jasně definovat termíny, principy a fakta, jež se v práci následně vyskytují.

Za důležitou považuji podkapitolu 4.8 Analýza, simulace, emulace. K této podkapitole mám následující otázku:

3. Je Vaše radiofrekvenční zařízení pro komplexní testování bezdrátových sítí hardwarovým simulátorem nebo hardwarovým emulátorem?

Pátá a šestá kapitola práce naplňují první cíl disertace – vytvoření zařízení pro testování bezdrátových sítí a stanovení postupů pro jejich měření. Na základě rozboru alternativních architektur bylo navrženo finální schéma zařízení a toto schéma bylo hardwarově implementováno. Popsány byly procedury pro měření parametrů vysílačů, citlivosti přijímačů, přeslechů mezi kanály, chybovosti a parametrů kanálu.

K uvedeným kapitolám mám následující otázku:

4. Na str. 54 píšete, že všechny komponenty Vašeho testovacího zařízení jsou schopny pracovat v pásmu kmitočtů od 2 to 6 GHz. Které komponenty by bylo třeba nahradit, pokud by měly být pokryty rovněž nižší nebo vyšší kmitočty?

Sedmá kapitola popisuje příklady praktických měření provedených na testovacím zařízení. Proměřeny byly dva různé typy vysílačů, přijímač a přeslechy mezi kanály. Kapitola má částečně vazbu k druhému cíli disertace.

Ke kapitole mám následující otázky:

5. Na str. 91 uvádíte, že stínící účinky hliníkové fólie byly na kmitočtu 2,4 GHz nedostatečné. Zkusil jste spočítat, jaká je hloubka vniku elektromagnetické vlny do hliníku na daném kmitočtu?
6. V podkapitolách 7.2 a 7.3 se zabýváte porovnáními modulací OFDM a DSSS. Objasněte, jak tyto podkapitoly naplňují druhý cíl disertace (*cross-technology interference* mezi DSSS a OFDM).

Osmá kapitola se věnuje experimentálnímu výzkumu různých technik potlačování interferencí. Osmá kapitola naplňuje třetí cíl disertace.

Z výše uvedeného popisu je zřejmé, že všechny tři cíle disertace byly naplněny. Práci však vyčítám, že každému cíli nebyla věnována samostatná kapitola se souhrnným závěrem, v němž by byl zdůrazněn původní přínos práce, a v němž by bylo uvedeno, kde byly původní výsledky práce publikovány.

Výsledky disertace. Tomáš Dulík publikoval výsledky svého výzkumu v pěti časopiseckých článcích, devíti příspěvcích na konferencích a dvou kapitolách v knize. U publikací bohužel není uveden podíl Tomáše Dulíka na autorství; tato informace by měla zaznít při obhajobě.

Publikace Tomáše Dulíka osvědčují originalitu jeho výzkumu a přijetí jeho výsledků mezinárodní odbornou komunitou.

Význam pro praxi. Význam experimentálního výzkumu vzájemného ovlivňování různých bezdrátových služeb nabývá s růstem jejich počtu na významu. Je proto dobře, že předložená disertační práce k tomuto výzkumu přispěla testovacími zařízeními a metodikou jejich použití.

Ocenění rovněž zaslouží široké zapojení studentů do výzkumu. Jak je uvedeno v práci, na daném výzkumu svými bakalářskými a diplomovými pracemi participovalo celkem 66 studentů.

Závěr. Předloženou disertační práci

DOPORUČUJI

k obhajobě.

V Brně dne 11. dubna 2012



Prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida

Literatura

- [1] SHIMIZU, Y., SANADA, Y. OFDM Interference suppression for DS/SS systems using complex FIR filter. In *Proceedings of the IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing*, 2007, p. 514–517.

Prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida

Ústav radioelektroniky, FEKT VUT v Brně, Purkyňova 118, Brno, 612 00
Tel.: 603 151 432, e-mail: raida@feec.vutbr.cz

OPONENTSKÝ POSUDEK DIZERTAČNÍ PRÁCE

Název dezert. práce: **Metody pro snížení rušení v bezdrátových sítích**
(Methods for interference mitigation in wireless network)

Doktorand: **Ing. Tomáš Dulík**
Pracoviště: **Fakulta aplikované informatiky, Univerzita T. Bati ve Zlíně**
Studijní obor: **Inženýrská informatika**

Předložená disertační práce je zaměřena především na problematiku zjišťování vlivu vzájemných rušení zhoršujících spolehlivost přenosu informací u přenosových zařízení v bezdrátových sítích (WLAN). Jedná se zejména o případy, kdy větší počet těchto přenosových zařízení (transceiveru) je provozován v téže instalační lokalitě a tato zařízení se mohou nepřiměřeně vzájemně rušit až do té míry, kdy toto rušení může být příčinou velké chybovosti přenosu informace. Dizertant ve své práci provádí rozbor, pokud možno, všech podstatných příčin vzájemných rušení (interferencí, přeslechů,.....) a ze znalosti těchto příčin rozpracovává metody pro potlačení jejich nežádoucího vlivu. Provoz sítí WLAN se základním modulačním uspořádáním DSSS / OFDM a modulacemi nosných BPSK / M-QAM, se řídí standardem IEEE 802.11 a/b/g/.../n. Závěry odtud vyplývající určují náplň práce pro písemnou část DP dizertanta, a odtud také vývoj její experimentální části.

Práce je napsána v anglickém jazyce čítající 150 stran rozvržených do 12 kapitol. Podstata vlastního řešení zadaného problému je obsahem převážně prvních osmi kapitol. V této části práce je, kromě teoretických základů řešené tematiky, uvedeno značné množství naměřených grafů, konstelačních diagramů, tabulek uvádějících hodnoty parametrů CS/CCA, EVM, PAPR (crest factor), ACR, BER, PER, FER, Receiv. sensitivity, IQ offset, Quadr. Err, Freq. Err, ... a dalších údajů získaných měřeními na některých typických komunikačních zařízeních WLAN. Závěrečné kapitoly jsou věnovány dodatkům, z nichž je nutno ocenit jak obsažený seznam software-ových prostředků a protokolů použitých při řešení zadané tematiky, tak také na značné množství prostudovaných a v DP aplikovaných závěrů z aktuální literatury k zadané problematice. Rozsah pedagogické a vědecké činnosti dizertanta, uvedený v dodatcích práce je rovněž pozoruhodný. Seznam zkratk zde přiložený měl však být podstatně rozsáhlejší.

Z hlediska jazykového je práce na dobré úrovni (někde poněkud beletristická) – jsou zde však také drobné gramatické chyby a místy méně vhodné větné skladby. Grafická úroveň práce je rovněž dobrá – jen u některých obrázků (Fig. 21, 27, 37, 43, 44, 45,83, 87) by bylo vhodné provést jejich větší odsazení od textu práce.

Aktuálnost tématu dizertační práce

Téma dizertační práce je trvale aktuální, neboť neustále narůstají požadavky na zvyšování přenosových kapacit bezdrátových sítí při současných požadavcích na snižování jejich chybovosti přenosu; navíc při nadále se rozšiřujícím množství sítí

WLAN. Dokazuje to v celosvětovém měřítku nepřetržitě pokračující vývoj systému z této oblasti komunikací k naplňování výše uvedených požadavků.

Splnění cílů dizertace

Byl proveden návrh měřících metod pro stanovení škodlivého vlivu rušení, odtud odpovídající návrh experimentů a realizováno poměrně značného množství měření. Bylo úspěšně odzkoušeno navržené měřícího pracoviště (testbed), které je systémově i konstrukčně originální. Pro snížení počtu drahých, nebo nedostupných měřících přístrojů byla vypracována alternativní uspořádání měřících schémat s využitím (podstatně levnějších) vztažných přenosových zařízení WLAN (golden devices). U několika typu přenosových zařízení WLAN byly změřeny jejich základní parametry mající vliv na chybovost přenosu informace a navržena opatření pro zmírnění této chybovosti. Všechny tyto aktivity související s řešením zadané problematiky tvoří stěžejní část práce a z výsledků zde uvedených, lze cíle dizertace považovat za splněné.

Výsledky dizertace, nové poznatky, význam práce pro praxi a další rozvoj vědy

Z celkové úrovně předložené práce, rozsahu činností z ní patrných, a množství výsledků zde prezentovaných je její význam nesporný. Předpokládá se její využití nejen v oblasti pedagogické, ale pravděpodobně také v praxi. Konkrétně např. pro stanovení vhodnosti použití některých zařízení WLAN - vyvstane-li potřeba jejich zařazení do určitých přenosových sítí. Poznatky získané z práce na DP se stávají dalším souborem důležitých informací pro stále pokračující rozvoj zde prezentované oblasti vědy.

Dotazy na dizertanta

- Str. 22 – devátý řádek od konce stránky : ...because an OFDM symbol is a linear composition of single **harmonics** carriers....- obecně však subnosné kmitočty v symbolu OFDM nejsou harmonickými složkami nějakého základního nosného kmitočtu – viz např. hodnoty kmitočtů subnosných v OFDM symbolu u konkrétního kanálu DVB-T signálu.
- Chyba ve vzorci (29). Chyba v přiřazení hodnot bitových rychlostí (Mbit/s) u grafických průběhů křivek na obr. 84 – porovnej s údaji v Tab. 5.
- Str. 96 – druhý řádek odspodu ... (see figures 10-14)... – o které obrázky se jedná?

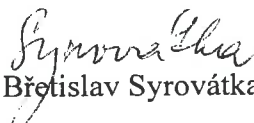
Závěrečné hodnocení

S ohledem na úspěšné zvládnutí širokého záběru prací na řešené problematice, celkové dosažené výsledky zejména v oblasti její experimentální části, zasvěcenost dizertanta do problematiky, efektivní metody řešení úkolu a také obsažnou publikační a pedagogickou činnost dizertanta

doporučuji

práci k obhajobě v oboru „Inženýrská informatika“ na Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně.

V Praze 4. dubna 2012


Doc. Ing. Břetislav Syrovátka, CSc

Prof. Ing. Karel Vlček, CSc.
Department of Computer and Communication Systems
Faculty of Applied Informatics
Tomas Bata University in Zlín

Opponent opinion

on dissertation thesis of Ing. Tomáš Dulík

“Methods for interference mitigation in wireless networks”

Dissertation thesis “Methods for interference mitigation in wireless networks”, submitted by Ing. Tomáš Dulík, deals with the digital wireless networks and data transmission using coding theory and modern digital modulation techniques in high frequency transmissions. The thesis is divided into three main parts: the first one concludes Introduction, State of the art, Thesis objectives, and Basic WLAN 802.11 principles. The second part brings Testbench and measurement methods, and experiment evaluations, and the third part interests in Methods for interference mitigation and Conclusion of the thesis.

In the introduction (theoretical) part of the text there are formulated basic principles of the transmission theory and utilization of used standards in the digital signal modulation (and processing). Calls for research are based on latest development in digital as well as RF networks for access networks. Rather extensive literature and state-of-the-art survey, including key terminology, has been made by the author in the areas of RF transmission, and practically used techniques and IP protocols for the content distribution in wireless networks. Goals of research were specified at the beginning of thesis. May be it could be better to realize the goals of research.

In the second (experimental) part of the thesis there are introduced and experimentally presented methods of measurement, namely in the active noise cancellation and their applications in the transmission of signal over RF systems. There are also introduced method profits from low sampling rates and cheap DSP chips. Several methods for base band and RF band are discussed and analyzed. There are presented distributed OFDM symbol-level synchronization. The results are demonstrated on transmitted signals, which were measured on the experimental configuration. The results are presented in tables and graphs.

In the third (scientific and contribution) part of the thesis the new is designed a lot of experiments with various modulations and receive measurements. The principle of the active noise cancellation was used in the receiver for the improving the adjacent channel protection ratio by the author. The RF filtering is the more traditional technique, but it is done in analog domain with all its disadvantages. Then the practical application of signal processing in the 802.11 standard, the time domain aspects are asked to reduce the spectral side lobes of the transmitted waveform. The implementer may use other methods to achieve the same goal, such as frequency domain filtering.

The results are compared at the end of the third part of the thesis. There have not been many publications dealing with co-location interferences between different 802.11 families and products. The wireless network designers have the important source of information for their theoretical, as well as the practical work. In the conclusion the author has summarized the supporting MSc. thesis projects using the RF test bed. This project is being finished at the Masaryk University in Brno. More then five projects are in progress at the Tomas Bata University in Zlín. All of these projects are supervised by author of these theses.

The submitted thesis consists of 154 pages including all overhead (content, list of figures, CV, technical appendix, etc.). The aims of the thesis were specified at the beginning of the thesis. The list of references contains 128 items. All the relevant sources (textbooks, technical specifications and reports, scientific papers and articles, www pages etc.) were used to cover the thesis topic and relate the author's contribution. The thesis also contains list of the papers and conference last contributions of the author (14 items in years 2004 – 2010). I can resume that the thesis solutions and related works were published all as the journal papers, and conference papers. The publications are completed by the two book chapters, and nine software projects, which are at the author, and used in the FAI, UTB in Zlín.

By my opinion the thesis contains all necessary formal parts. The text is comprehensive and it is written in appropriate scientific level. I have no serious comments on formal quality of the thesis, I see, the thesis is high, and outstanding quality not only in formal sense, but namely in scientific contribution.

Questions for the discussion:

1. What is the principle of active noise cancellation, which is described and used in the paragraph 8.3 in the thesis, and what type of phase shifter was used?
2. Please, explain the time domain filtering, which is described in the paragraph 8.4.2, what type of pulse shaping filter was applied in the custom digital modulation base band block?
3. What about ferroelectric memory components, which are used with RF signal filtering?

Summary:

Submitted thesis of Ing. Tomáš Dulík presents good contribution for the scientific and technical workers in the area of research and development. The main contribution I have found in the last part of the thesis, in the design and algorithm development of designed experiments. The contribution was experimentally verified and compared with the state-of-the-art. It is evident that the author has very good overview in the thesis topic and the thesis was sufficiently presented on the international forum.

I can confirm that Ing. Tomáš Dulík, by submitting the dissertation thesis, fulfils all needs for independent, systematic and scientific work. He presented new ideas and new solutions. The aims of the thesis were completed and met their definition. I can recommend, after the successful defense of the thesis before the commission and answering all the questions, confer a degree “doctor philosophiae” (in abbreviation “Ph.D.”) in the study program Technical cybernetics. I recommend the thesis for defense.

Zlín, 11th April 2012



Prof. Ing. Karel Vlček, CSc.